

Evaluating the Photon Contamination of Beam Shaper Applicator Using Monte Carlo Simulation

Nematollah Heidarloo¹,
Hamid Reza Baghani²,
Seyed Mahmoud Reza Aghamiri³,
Seyed Rabi Mahdavi⁴

¹ MSc in Radiation Medicine, Faculty of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Radiation Medicine, Faculty of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Professor, Department of Radiation Medicine, Faculty of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Medical Physics, Faculty of Medicine, Iran University of Medical Science, Tehran, Iran

(Received December 14, 2015 ; Accepted June 5, 2016)

Abstract

Background and purpose: Beam shaper is a type of applicator used in conjunction with the intraoperative electron radiotherapy. This study aimed at quantitative evaluation of the photon contamination of this applicator using Monte Carlo simulation.

Materials and methods: In this experimental study, at first the head of LIAC accelerator was simulated along with the beam shaper applicator using MCNPX Monte Carlo code. Validity of the simulated model was evaluated by comparing the percentage depth dose curves obtained by Monte Carlo simulation and practical dosimetry. Finally, the photon contamination at different clinical field sizes and electron energies was quantitatively determined.

Results: The results showed that by increase in field size, the photon contamination of the beam shaper applicator was considerably decreased. Furthermore, increment of electron energy could increase the photon contamination.

Conclusion: Increasing the photon contamination at the phantom surface by increment of electron energy and decrement of field size can be attributed to increasing the probability of electron interaction with the steel blades of the beam shaper and production of bremsstrahlung radiation at higher energies. Due to the photon contamination, employing the beam shaper applicator can increase the surface dose.

Keywords: intraoperative radiotherapy, photon contamination, beam shaper applicator, Monte Carlo Simulation

ارزیابی آلودگی فوتونی اپلیکاتور Beam Shaper با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو

نعمت الله حیدرلو^۱
حمیدرضا باغانی^۲
سید محمودرضا آقامیری^۳
سید ربیع مهدوی^۴

چکیده

سابقه و هدف: Beam Shaper نوعی اپلیکاتور مورد استفاده در رادیوتراپی حین عمل توسط الکترون است. هدف از این مطالعه بررسی کمی میزان آلودگی فوتونی ناشی از این اپلیکاتور با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو می باشد.

مواد و روش ها: در این مطالعه تجربی ابتدا سر شتاب دهنده LIAC به همراه اپلیکاتور Beam Shaper توسط کد مونت کارلو MCNPX شبیه سازی گردید و سپس اعتبار مدل شبیه سازی شده از طریق مقایسه منحنی های درصد دوز عمقی حاصل از شبیه سازی مونت کارلو و دوزیمتری عملی مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت میزان آلودگی فوتونی در اندازه های میدان و انرژی های مختلف به صورت کمی در سطح فانتوم آب مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: نتایج حاصل از این کار نشان داد که میزان آلودگی فوتونی ناشی از اپلیکاتور beam shaper با افزایش ابعاد میدان به طور قابل توجهی کاهش می یابد. به علاوه میزان آلودگی فوتونی با افزایش انرژی بیش تر می شود.

استنتاج: افزایش میزان آلودگی فوتونی در سطح فانتوم با کاهش ابعاد میدان و افزایش انرژی را می توان به افزایش احتمال برهم کنش الکترون با تیغه های فلزی اپلیکاتور و تولید تابش ترمزی در انرژی های بالاتر نسبت داد. استفاده از اپلیکاتور beam shaper به دلیل ایجاد آلودگی فوتونی باعث افزایش میزان دوز رسیده به سطح خواهد شد.

واژه های کلیدی: رادیوتراپی حین عمل، آلودگی فوتونی، اپلیکاتور Beam Shaper، شبیه سازی مونت کارلو

مقدمه

رادیوتراپی حین عمل (Intraoperative Electron Radiation Therapy)، پرتوهای ایکس کم انرژی (Low-KV IORT) و هم چنین چشمه های پرتوزا با فعالیت بالا (HDR-IORT) (۲) استفاده نمود. شتاب دهنده اختصاصی LIAC (Sordina، ایتالیا) یکی از مهم ترین شتاب دهنده های مورد استفاده در IOERT می باشد (۳، ۴). یکی از

رادیوتراپی حین عمل Intraoperative Radiotherapy (IORT) یکی از روش های خاص پرتودرمانی است که که با تحویل یک جلسه ای دوز (از مرتبه ۱۰ تا ۲۰ گری) به بستر تومور بلافاصله بعد از عمل جراحی انجام می شود (۱). برای پیاده سازی IORT می توان از روش های مختلفی شامل باریکه الکترون

E-mail: hamidreza.baghani@gmail.com

مؤلف مسئول: حمیدرضا باغانی - تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی هسته ای، گروه پرتوپزشکی

۱. کارشناسی ارشد پرتوپزشکی، دانشکده مهندسی هسته ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

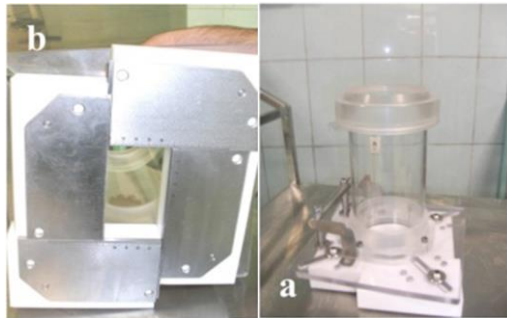
۲. استادیار، گروه پرتوپزشکی، دانشکده مهندسی هسته ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳. استاد، گروه پرتوپزشکی، دانشکده مهندسی هسته ای، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۴. دانشیار، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۲۳ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۴/۱۰/۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۳/۱۶

۸ mm ساخته شده است. قسمت استوانه‌ای شکل اپلیکاتور از جنس پلی متیل متاکریلات (PMMA) با ضخامت ۵ mm و طول ۲۵ cm ساخته شده است. ابعاد این اپلیکاتور برابر $250 \times 250 \times 210$ mm³ می باشد (۵). نمایی از این اپلیکاتور و قسمت‌های مختلف آن در تصویر شماره نشان داده شده است.



تصویر شماره ۱: (a) نمایی از اپلیکاتور beam shaper که بخش استوانه‌ای در بالا و بخش تیغه‌های شکل دهنده میدان در پایین اپلیکاتور واقع شده است، (b) نمای اپلیکاتور از پایین که تیغه‌های فلزی در آن تعبیه شده است

شبیه‌سازی مونت کارلو

و اپلیکاتور LIAC برای شبیه‌سازی سر شتاب دهنده نسخه MCNPX۲/۶ از کد مونت کارلوی beam shaper استفاده شد. نمای دو بعدی و سه بعدی از مدل شبیه‌سازی beam shaper به همراه اپلیکاتور LIAC شده شتاب دهنده متصل به آن در تصویر شماره آمده است. برای محاسبه منحنی‌های درصد دوز عمقی (PDD) باریکه الکترون حاصل از اپلیکاتور beam shaper در میدان‌های مربعی 4×4 ، 6×6 و 8×8 cm² و به ازای تمام انرژی‌های اسمی شتاب دهنده LIAC (۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ MeV) از یک سری سلول استوانه‌ای به قطر ۵ mm و ضخامت ۲ mm در داخل فانتوم آب استفاده شد.

دوزیمتری عملی

برای اندازه‌گیری عملی منحنی درصد دوز عمقی در beam shaper باریکه الکترون حاصل از اپلیکاتور

اپلیکاتورهای مورد استفاده با این شتاب دهنده، اپلیکاتور beam shaper می باشد (۵). به دلیل استفاده از تیغه‌های فلزی در انتهای این اپلیکاتور به منظور تولید میدان‌های مربعی و مستطیلی، احتمال آلودگی فوتونی باریکه الکترون در اثر برخورد الکترون‌ها به تیغه فلزی و تولید تابش ترمزی وجود دارد. هدف از این مطالعه استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو جهت ارزیابی کمی میزان آلودگی فوتونی ناشی از این اپلیکاتور در میدان‌های بالینی و انرژی‌های مختلف می باشد.

مواد و روش‌ها

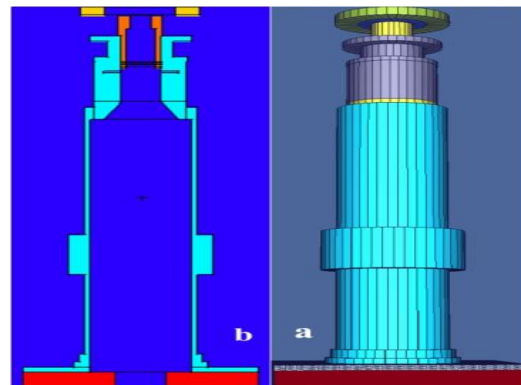
شتاب دهنده اختصاصی رادیوتراپی حین عمل LIAC

در مطالعه تجربی و شبیه‌سازی حاضر از شتاب دهنده رادیوتراپی حین عمل LIAC مدل ۱۲ MeV استفاده شد. این مدل قادر به تولید باریکه الکترون با انرژی‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ MeV می باشد (۶). قابلیت حرکت سر شتاب دهنده در راستای عمودی به اندازه ۱۰۰ cm، چرخش سر شتاب دهنده به چپ و راست (roll angle) به اندازه $\pm 60^\circ$ درجه و چرخش سر شتاب دهنده در راستای عرضی (pitch angle) با زوایای ۳۰ و ۱۵ درجه (به ترتیب به سمت خارج و داخل بدنه شتاب دهنده) از قابلیت‌های این سیستم است (۶). این شتاب دهنده برای پهن کردن باریکه الکترون به یک فویل پراکنده ساز آلومینیومی با ضخامت $820 \mu\text{m}$ مجهز است که علت اصلی استفاده از فویل آلومینیومی کاهش میزان آلودگی نوترونی در انرژی‌های بالا می باشد (۷).

اپلیکاتور Beam Shaper

اپلیکاتور beam shaper از چهار تیغه تشکیل شده است که دوبه‌دو به صورت کشویی باز و بسته می شوند. حرکت تیغه‌ها وابسته به یکدیگر بوده و تیغه‌های موازی به صورت هم زمان حرکت می کنند. این تیغه‌ها از دو لایه شامل (Polytetrafluoroethylene) (تفلون) با ضخامت ۲۶ mm و فولاد زنگ نزن (استیل) با ضخامت

میدان‌ها و انرژی‌های مذکور از تکنیک دوزیمتری یونی Semiflex و Advanced Markus توسط اتاقک‌های یونش استفاده شد (۷). نمایی از چیدمان دوزیمترهای مورد استفاده در اندازه‌گیری منحنی‌های درصد دوز عمقی در داخل فانتوم آب در تصویر شماره نشان داده شده است.



تصویر شماره ۲: مدل شبیه‌سازی شده از اپلیکاتور beam shaper: (a) نمای سه بعدی، (b) نمای دو بعدی



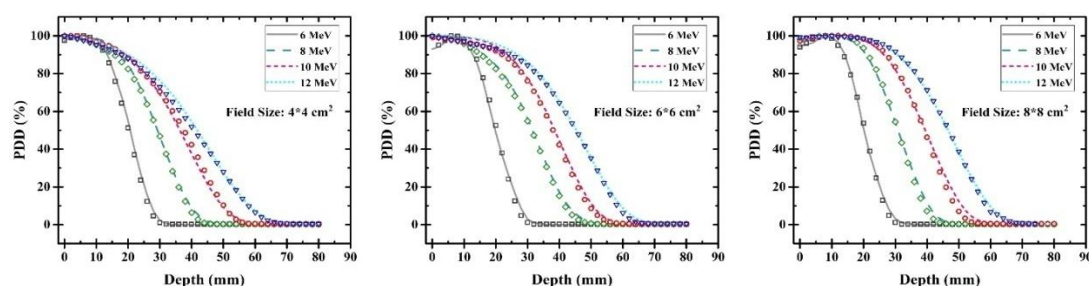
تصویر شماره ۳: (a) دوزیمتر میدان Advanced Markus، (b) دوزیمتر مرجع Semiflex جهت کنترل تغییرات خروجی شتاب دهنده، (c) قرارگیری اپلیکاتور beam shaper در سطح فانتوم آب

اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو برای اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی شده، منحنی‌های درصد دوز عمقی حاصل از شبیه‌سازی با نتایج متناظر عملی مورد مقایسه قرار گرفتند. این مقایسه به صورت کمی و از طریق به کارگیری تحلیل گاما با معیارهای درصد اختلاف دوز و فاصله تا توافق به ترتیب ۳ درصد و ۳ mm انجام شد (۸).

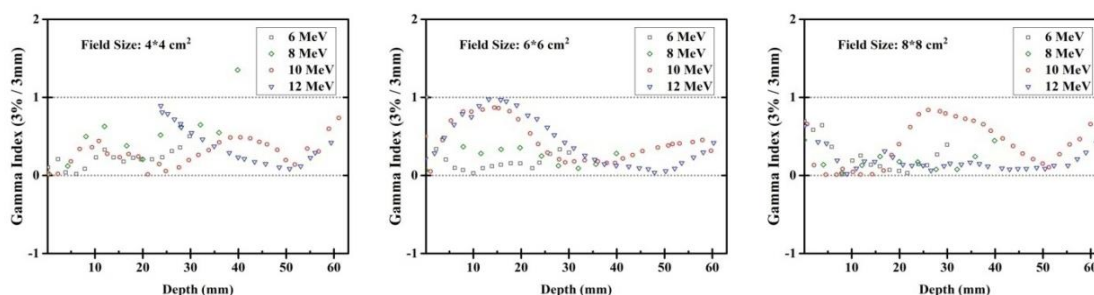
ارزیابی آلودگی فوتونی برای بررسی آلودگی فوتونی مربوط به میدان‌های بالینی مختلف حاصل از اپلیکاتور beam shaper شامل میدان‌های ۱×۱ تا ۱۰×۱۰ cm² در انرژی‌های مختلف ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ MeV باریکه الکترون شتاب دهنده LIAC، میزان مشارکت فوتون‌ها در میزان دوز رسیده به سطح فانتوم به صورت کمی و از طریق به کارگیری تالی استاندارد F4 محاسبه شد.

یافته‌ها و بحث

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو در محاسبه منحنی‌های درصد دوز عمقی در تصویر شماره و به صورت شکل‌های هندسی توخالی نشان داده شده است. خطوط مشخص شده در این تصویر نیز نشان‌دهنده نتایج حاصل از دوزیمتری عملی توسط اتاقک یونش می‌باشند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج حاصل از شبیه‌سازی مونت کارلو و دوزیمتری عملی از توافق قابل قبولی برخوردارند. مقایسه کمی اختلاف نتایج توسط تحلیل گاما نیز صحت این ادعا را مورد تأیید قرار می‌دهد (تصویر شماره).

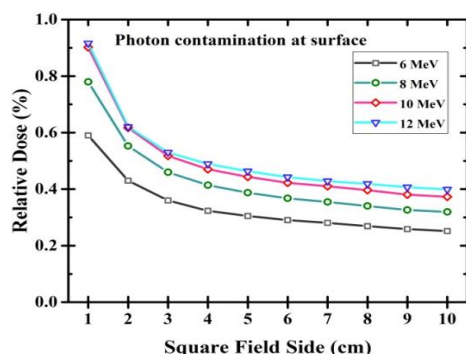


تصویر شماره ۴: منحنی های درصد دوز عمقی حاصل از شبیه سازی مونت کارلو (شکل های توخالی) و اندازه گیری عملی (خطوط توپر) در انرژی ها و ابعاد میدان مختلف



تصویر شماره ۵: مقادیر شاخص گاما به تفکیک انرژی در عمق ها و میدان های تابش مختلف

انرژی الکترون میزان تابش ترمزی حاصل از برهمکنش باریکه با تیغه های فلزی beam shaper افزایش یافته و به دنبال آن میزان آلودگی فوتونی افزایش می یابد.



تصویر شماره ۶: درصد دوز نسبی ناشی از آلودگی فوتونی در سطح فانتوم برای میدان های مربعی $1 \times 1 \text{ cm}^2$ تا $10 \times 10 \text{ cm}^2$ در انرژی های مختلف

در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت که استفاده از اپلیکاتور beam shaper رادیوتراپی حین عمل، میزان دوز رسیده به سطح را افزایش خواهد داد که این افزایش به دلیل مشارکت آلودگی فوتونی حاصل از این اپلیکاتور در میزان دوز رسیده به سطح است. البته باید خاطر نشان کرد که میزان

نتایج مربوط به میزان دوز ناشی از آلودگی فوتونی در سطح فانتوم آب در میدان ها و انرژی های مختلف در تصویر شماره نشان داده شده است. قابل ذکر است که مقادیر دوز ناشی از آلودگی فوتونی بر حسب درصد بیشینه دوز در امتداد محور بالینی باریکه الکترون در انرژی و ابعاد میدان متناظر گزارش شده است. همان طور که ملاحظه می شود با کاهش ابعاد میدان در یک انرژی مفروض میزان آلودگی فوتونی به طور قابل توجهی افزایش می یابد. با کاهش ابعاد میدان بخشی از تیغه های فلزی مورد استفاده در اپلیکاتور beam shaper که در مقابل باریکه الکترون قرار می گیرد، افزایش و به تبع آن میزان فوتون های تابش ترمزی تولید شده و آلودگی فوتونی متناظر با آن افزایش می یابد. به همین ترتیب با افزایش ابعاد میدان به دلیل خارج شدن بخش بیشتری از تیغه های فلزی از معرض باریکه الکترون فرودی، میزان آلودگی فوتونی کاهش می یابد. به علاوه با افزایش انرژی در یک میدان تابشی مفروض، میزان آلودگی فوتونی افزایش می یابد. به طور کلی احتمال تولید تابش ترمزی با افزایش انرژی الکترون فرودی افزایش می یابد. بنابراین با افزایش

رادیوتراپی حین عمل، میزان دوز ناشی از آلودگی فوتونی حاصل از اپلیکاتور beam shaper می‌تواند به لحاظ بالینی حائز اهمیت باشد.

مشارکت آلودگی فوتونی در میزان دوز رسیده به سطح در بیش‌ترین حالت در حدود ۱ درصد است (تصویر شماره ۶)، اما با توجه به تحویل دوزهای بسیار بالا در

References

1. Willett CG, Czito BG, Tyler DS. Intraoperative radiation therapy. *J Clin Oncol* 2007; 25(8): 971-977.
2. Sztankay A. Importance of intraoperative radiation therapy in the treatment of soft tissue sarcoma: data at hand. *Memo-Magazine of European Medical Oncology* 2014; 7(3): 172-176.
3. Baghani HR, Aghamiri SM, Mahdavi SR, Robatjazi M, Zadeh AR, Akbari ME, et al. Dosimetric evaluation of Gafchromic EBT2 film for breast intraoperative electron radiotherapy verification. *Phys Med* 2015; 31(1): 37-42.
4. Robatjazi M, Mahdavi SR, Takavr A, Baghani HR. Application of Gafchromic EBT2 film for intraoperative radiation therapy quality assurance. *Phys Med* 2015; 31(3): 314-319.
5. Soriani A, Iaccarino G, Felici G, Ciccotelli A, Pinnarò P, Giordano C, et al. Development and optimization of a beam shaper device for a mobile dedicated IOERT accelerator. *Med Phys* 2012; 39(10): 6080-6089.
6. Iaccarino G, Strigari L, D'Andrea M, Bellesi L, Felici G, Ciccotelli A, et al. Monte Carlo simulation of electron beams generated by a 12 MeV dedicated mobile IORT accelerator. *Phys Med Biol* 2011; 56(14): 4579-4596.
7. Baghani HR, Aghamiri SM, Mahdavi SR, Akbari ME, Mirzaei HR. Comparing the dosimetric characteristics of the electron beam from dedicated intraoperative and conventional radiotherapy accelerators. *J Appl Clin Med Phys* 2015; 16(2): 5017.
8. Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. *Med Phys* 1998; 25(5): 656-661.